

M. Milojica, K. Dundović: Primjena Poissonove razdiobe u statističkoj obradi ozljeda na radu...
Zbornik Veleučilišta u Rijeci, Vol. 2 (2014), No. 1, pp. 295-312

Milorad Milojica¹
Kristina Dundović²

Stručni rad
UDK 331.462:627.09(497.5 Rijeka)

PRIMJENA POISSONOVE RAZDIOBE U STATISTIČKOJ OBRADI OZLJEDA NA RADU U TRGOVAČKOM DRUŠTVU „LUKA RIJEKA“³

SAŽETAK

Unapređivanje sigurnosti pri radu može se smatrati općim ciljem statističke obrade podataka o nezgodama pri radu. U okviru tog općeg, mogu se posebno istaknuti specifični ciljevi, kao što je dobivanje valjanih i pouzdanih informacija na temelju kojih upravljački menadžment u poduzeću može voditi racionalnu politiku unapređivanja i upravljanja sigurnošću. Vjerojatnost da nastupi ozljeda na radu u određenom vremenskom intervalu jednaka je omjeru broja ozlijeđenih radnika i ukupnog broja radnika u promatranoj populaciji. Iskustvo općenito pokazuje da je vjerojatnost ozljeda u periodu od jedne godine vrlo mala, te da je ozljeda na radu stoga „rijedak događaj“. Kako se ozljeda na radu može ponoviti, odnosno budući da jedan radnik može doživjeti jednu, dvije, tri i više istovrsnih ili različitih ozljeda, može se promatrati razdioba broja ozljeda (frekvencija) po radnicima. Obično se pretpostavlja da je razdioba broja ozljeda dobro opisana teorijskom Poissonovom razdiobom. U pripremi ovog rada izvedena su istraživanja koja se temelje na godišnjem Izvješću o Zaštiti na radu Službe zaštite na radu Luke Rijeka gdje je korištena Poissonova distribucija kao statistička metoda pri analizi ozljeda na radu. Cilj ovog rada je ukazati na potrebu sustavnih istraživanja sa svrhom daljnjeg smanjenja ozljeda na radu u lučkim procesima. Primjenom statističke metode prilikom analize ozljeda na radu dobili smo smjernice za sustavno istraživanje ozljeda, kako bi se „rijedak događaj“ (kako se u praksi definira ozljeda na radu) u potpunosti pokušao eliminirati.

Ključne riječi: zaštita na radu, statistička obrada, ozljede na radu, učestalost ozljeda, Poissonova distribucija

1. UVOD

Sigurnost na radu ima posebno značajnu ulogu u radu lučkih sustava.

Strategija postignuća cilja „bez ozljeda na radu“ zasniva se na: stalnom osposobljavanju zaposlenih uz precizna zaduženja i odgovornosti svih sudionika u procesu rada, naročito voditelja poslova: grupovođa, disponenta, organizatora rada, nadzornika, planera, voditelja službi i direktora. Sve se ovo treba ostvariti primjerenom organizacijom rada, ali i provedbom poslova zaštite na radu, što posebno uključuje analizu ozljeda na radu.

Podaci o nezgodama na radu u poduzeću „Luka Rijeka“ d. d. obrađuju se na nekoliko razina primjene statistike.

¹ Dipl. ing. sig., rukovoditelj službe zaštite, Luka Rijeka d. d., Riva 1, Rijeka, Hrvatska. E-mail: znr@lukarijeka.hr

² Dipl. ing. sig., asistent, Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka, Hrvatska. E-mail: kristina.dundovic@veleri.hr

³ Datum primitka rada: 13. 2. 2014.; datum prihvatanja rada: 5. 5. 2014.

A) razina predstavlja sređivanje raznih podataka o nezgodama u određene klase i utvrđivanje brojčanih odnosa u pojedinim klasama na temelju njihove učestalosti, npr. pokazivanje broja nezgoda po danima u tjednu, satima u tjednu, radnim jedinicama i sl.

B) razina predstavlja svođenje broja nezgoda na manji broj reprezentativnih vrijednosti, primjerice, izražavanje nezgoda u indeksima učestalosti i indeksima težine po radnim jedinicama i sl.

C) razina predstavlja ispitivanje i provjeravanje različitih hipoteza radi otkrivanja stupnja veze između različitih pojava, primjerice, provjeravanje postoji li i u kakvoj mjeri veza između učestalosti nezgoda i stupnja kvalificiranosti radnika, radnog iskustva itd.

U ovom radu autori obrađuju podatke o nezgodama pri radu na A razini. Cilj ovog rada je primjenom odgovarajuće statističke metode, prikazati analizu ozljeda na radu te na taj način ukazati na potrebu sustavnih istraživanja sa svrhom daljnjeg smanjenja ozljeda na radu u lučkim procesima. Postavljena je hipoteza: sustavna istraživanja ozljeda na radu vode značajnom smanjenju ozljeda. Detaljnom analizom pruža se stručnjacima zaštite na radu mogućnost da detektiraju uzrok i izvor ozljede te spriječe njezino ponavljanje.

Posebnu poteškoću u proučavanju nezgoda čini nemogućnost neposrednog prenošenja iskustva na sličnu situaciju. Naime, na prvi pogled minimalna razlika u uvjetima rada može biti veoma značajna u pogledu učestalosti nezgoda. Tako se u identičnim objektivnim prilikama rada dvije skupine radnika mogu značajno razlikovati po učestalosti nezgoda, što može nastati kao posljedica razlike u stavovima prema mjerama zaštite na radu ili zbog drugih subjektivnih razloga.

Ovaj rad temelji se na godišnjem izvješću o zaštiti na radu Luke Rijeka (Milojica, 2013) gdje je korištena Poissonova distribucija kao statistička metoda pri analizi ozljeda na radu. U pripremi ovoga rada izvedena su istraživanja koja se odnose za period od tri godine, tj. od 2011. do 2013. godine.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U ovom radu kao statistička metoda uzeta je Poissonova distribucija koja podrazumijeva raspodjelu rijetkih slučajnih događaja kod kojih je vjerojatnost pojavljivanja vrlo mala.

Ona izražava vjerojatnost broja događaja ako se oni pojavljuju u fiksnom vremenskom periodu s poznatom prosječnom brzinom pojavljivanja i vremenski su nezavisni od prošlog događaja.

Za razliku od normalne distribucije koja je potpuno definirana aritmetičkom sredinom i standardnom devijacijom, Poissonova distribucija je potpuno definirana aritmetičkom sredinom jer je njena varijanca jednaka aritmetičkoj sredini.

Kada je N (ukupan broj) vrlo velik, Poissonova distribucija se približava binomnoj, ali je razlika u tome što kod binomne raspodjele znamo koliko se puta neki događaj pojavio, ali i koliko se puta nije pojavio, a kod Poissonove raspodjele znamo samo koliko se puta neki događaj pojavio.

3. DISTRIBUCIJA BROJA OZLJEDA NA RADU U DIONIČKOM DRUŠTVU „LUKA RIJEKA“ ZA PERIOD OD 2004. DO 2013. GODINE

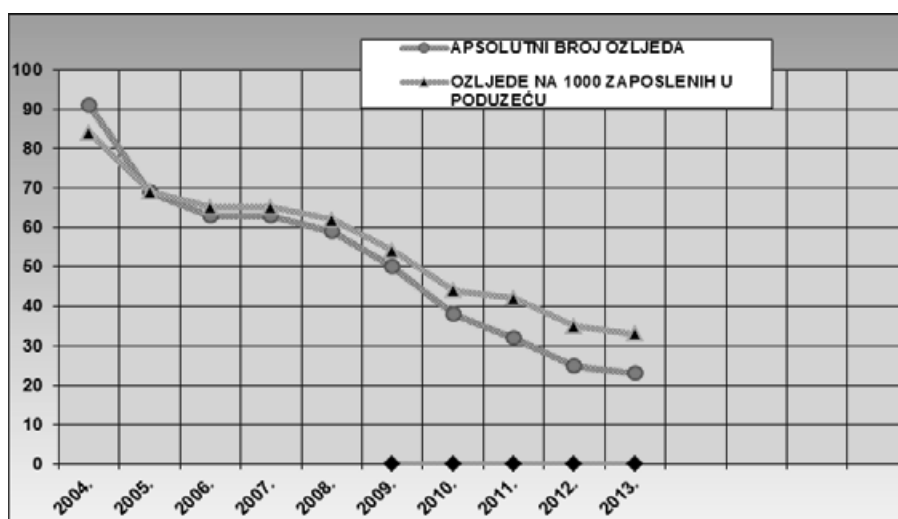
Iz tablice je vidljivo da se broj zaposlenih iz godine u godinu smanjivao i da je dolazilo do pada apsolutnog broja ozljeda. U promatranom razdoblju u 2013. godini dogodio se najmanji broj ozljeda na radu, tj. 8 % manje nego u 2012. godini i 6 % manje ozljeda na 1.000 zaposlenih u odnosu na 2012. godinu. Isto je zorno prikazano u grafikonu 1.

Tablica 1. Prikaz broja ozljeda na radu u poduzeću „Luka Rijeka“ d. d. za period od 2004. do 2013. god.

| god. | broj zaposlenih (na dan 31. 12.) | broj ozljeda na radu | broj ozljeda na 1.000 zaposlenih |
|-------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 2004. | 1 079 | 91 | 84 |
| 2005. | 994 | 69 | 69 |
| 2006. | 968 | 63 | 65 |
| 2007. | 956 | 63 | 65 |
| 2008. | 958 | 59 | 62 |
| 2009. | 934 | 50 | 54 |
| 2010. | 872 | 38 | 44 |
| 2011. | 768 | 32 | 42 |
| 2012. | 724 | 25 | 35 |
| 2013. | 704 | 23 | 33 |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Grafikon 1. Kretanje broja ozljeda na radu u „Luka Rijeka“ d. d. za razdoblje od 10 godina



Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

4. ISPITIVANJE PRIMJENJIVOSTI POISSONOVE RAZDIOBE

Obično se pretpostavlja da je razdioba broja ozljeda dobro opisana teorijskom Poissonovom razdiobom. U pripremi ovoga rada izvedena su proučavanja koja se odnose za period od tri godine, tj. od 2011. do 2013. godine.

4.1 Primjena χ^2 testa

χ^2 (hi–kvadrat) test isključivo se primjenjuje na podacima predstavljenim frekvencijama dobivenim brojenjem (f) ili teorijskim izračunavanjem (f_t) prema nekom modelu distribucije frekvencija (normalna, binomna, Poissonova, negativno binomna).

Vrijednost χ^2 mjera je odstupanja stvarnih, opažanih frekvencija (f) od teorijskih očekivanih (f_t).

Provjereno je razlikuje li se broj stvarnih frekvencija (ozljeda) u Luci Rijeka statistički značajno od teorijskih očekivanih ozljeda. Provjeravalo se pomoću hi–kvadrat testa.

Vrijednost χ^2 izračunava se izrazom:

$$\chi^2 = \frac{(f - f_t)^2}{f_t}$$

Vrijednost Poissonove razdiobe izračunava se izrazom:

$$P_{(X)} = \frac{m^x \cdot e^{-m}}{x!}$$

\bar{x} gdje je : $m =$

$$m = \frac{\sum f \cdot x}{\sum f}$$

χ^2 (hi–kvadrat) testom provjereno je razlikuje li se distribucija broja ozljeda na radu u trgovačkom društvu Luka Rijeka u posljednje tri godine značajno od frekvencije teorijske očekivane Poissonove distribucije ozljeda.

Vrijednosti stvarnih frekvencija prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Razdioba broja radnika (f) po broju ozljeda (x) u dioničkom društvu Luka Rijeka od 2011. do 2013. godine

| godina | broj radnika | | |
|-----------|--------------|-------------------|-----------------|
| | bez ozljeda | s jednom ozljedom | s dvije ozljede |
| 2011. | 738 | 28 | 2 |
| 2012. | 700 | 23 | 1 |
| 2013. | 683 | 19 | 2 |
| Σ | 2120 | 70 | 5 |
| \bar{x} | 707 | 23,3 | 1,67 |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

4.2 Izračunavanje teorijskih frekvencija Poissonove razdiobe

Teorijska frekvencija $f_t(0)$ izračunava se izrazom:

$$\log f_t = (\log n - k \cdot \bar{x}) \quad \text{gdje je:}$$

\bar{x} = prosječna vrijednost rijetkih slučajeva

k = konstanta koja iznosi 0,4343

n = ukupan broj (Σf) slučajeva

$$m = \frac{\sum f \cdot x}{\sum f} = \frac{32}{768} = 0,0417$$

$$\log f_t = (\log 768 - 0,4343 \cdot 0,0417)$$

$$\log f_t = (\log 768 - 0,0181)$$

$$\log f_t = 2,8673$$

$$f_t = 736,72 \text{ (neozlijeđeni radnici)}$$

Teorijske frekvencije svake sljedeće vrijednosti (x) od 1 na više dobivaju se izrazom:

$$xf_t = \frac{(x-1) \cdot f_t \bar{x}}{x} \quad \text{gdje je:}$$

$(x-1) \cdot f_t$ = teorijska frekvencija prethodne vrijednosti (x)

$$f_t = \frac{\phi f_t \bar{x}}{1} = \frac{736,72 \cdot 0,0417}{1} = 30,72 \text{ (radnici s jednom ozljedom)}$$

$$f_t = \frac{1 f_t \bar{x}}{2} = \frac{30,72 \cdot 0,0417}{2} = 0,64 \text{ (radnici s dvije ozljede)}$$

Uz poznatu vrijednost m ($m = 0,0417$) moguće je izračunati bilo koju vrijednost $P(x)$ Poissonove distribucije za $x = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$P_{(x)} = \frac{m^x \cdot e^{-m}}{x!}$$

$$P_{(0)} = \frac{0,0417^0 \cdot e^{-0,0417}}{0!} = 0,9592$$

$$P_{(1)} = \frac{0,0417^1 \cdot e^{-0,0417}}{1!} = 0,0399$$

$$P_{(2)} = \frac{0,0417^2 \cdot e^{-0,0417}}{2!} = 0,0008$$

ANALIZA PODATAKA ZA 2011. GODINU

Tablica 3. Prikaz razdiobe broja radnika (f) po broju ozljeda (x) u Luka Rijeka d. d. (teorijske frekvencije f_t , χ^2 vrijedost, pripadne vjerojatnosti $P_{(x)}$)

| broj ozljeda (x) | f | $f \cdot x$ | f_t | $P_{(x)}$ | $f - f_t$ | $(f - f_t)^2$ | $\frac{(f - f_t)^2}{2}$ |
|-------------------------|-----|-------------|--------|-----------|-----------|---------------|-------------------------|
| 0 | 738 | 0 | 736,72 | 0,9592 | 1,28 | 1,638 | 0,82 |
| 1 | 28 | 28 | 30,72 | 0,0399 | -2,72 | 7,398 | 3,70 |
| 2 | 2 | 4 | 0,64 | 0,0008 | 1,44 | 2,074 | 1,04 |
| å | 768 | 32 | 768 | 0,9999 | 0 | | 5,56 |

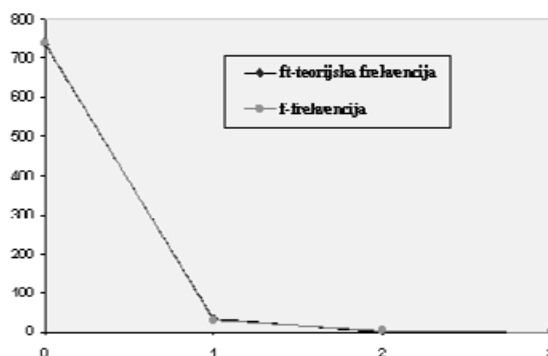
Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Na temelju izračunatog stupnja slobode 1 ($ss = k - 2$) gdje je:

k = broj kategorija (u ovom primjeru to je broj različitih ishoda ($k = 3$), pa za ovaj primjer broj stupnjeva slobode iznosi: $ss = k - 2 = 3 - 2 = 1$)

Prema dostupnim podacima iz relevantne literature (Šrekl, 1997) očitane su granične χ^2 vrijednosti. Za 1 % rizika pogreške u zaključivanju granična vrijednost iznosi 6,64, a za 5 % rizika vrijednost je 3,84. Izračunata vrijednost iznosi 5,56, dakle između tabličnih vrijednosti, pa se može tvrditi, uz rizik pogreške u zaključivanju manji od 5 % a nešto veći od 1 %, da ne postoji statistički značajna razlika između empirijskih i teorijskih frekvencija, te da se razdioba ozljeda pokorava zakonu Poissonove distribucije, što je vidljivo na grafikonu 2.

Grafikon 2. Teorijskih frekvencija (f_t) Poissonove razdiobe za $m = 0,0417$ i dobivenih frekvencija (f) ozljeda na radu za 2011. godinu



Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

ANALIZA PODATAKA ZA 2012. GODINU

Tablica 4. Prikaz razdiobe broja radnika (f) po broju ozljeda (x) Luka Rijeka d. d. (teorijske frekvencije f_t , χ^2 vrijedost, pripadne vjerojatnosti $P_{(x)}$) za 2012. godinu

| broj ozljeda(x) | f | $f \cdot x$ | f_t | $P_{(x)}$ | $f - f_t$ | $(f - f_t)^2$ | $(f - f_t)^2$ 2 |
|------------------------|-----|-------------|--------|-----------|-----------|---------------|--------------------|
| 0 | 700 | 0 | 699,52 | 0,9660 | 0,480 | 0,230 | 0,0003 |
| 1 | 23 | 23 | 24,13 | 0,0333 | -1,130 | 1,277 | 0,053 |
| 2 | 1 | 2 | 0,42 | 0,0006 | 0,650 | 0,422 | 1,006 |
| Σ | 724 | 25 | 724 | 0,9999 | 0 | | 1,06 |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

$$C^2 = 1,06$$

ss = 3 – 2 = 1 → iz tablice: za 1 % rizika 6,64

za 5 % rizika 3,84

Na temelju izračunatog stupnja slobode 1, prema dostupnim podacima iz relevantne literature (Šrekl, 1997) očitane su granične C^2 vrijednost. Za 1 % rizika pogreške u zaključivanju, granična vrijednost iznosi 6,64, a za 5 % rizika vrijednost je 3,84. Izračunata vrijednost iznosi 1,06, dakle manja $C^2 < C^2_g$ pa se može tvrditi da nema statistički značajnijih razlika između dobivenih i teoretski očekivanih frekvencija.

ANALIZA PODATAKA ZA 2013. GODINU

Tablica 5. Prikaz razdiobe broja radnika (f) po broju ozljeda (x) u Luka Rijeka d. d. (teorijske frekvencije f_t , C^2 vrijedost, pripadne vjerojatnosti $P_{(x)}$) za 2013. godinu

| broj ozljeda (x) | f | f · x | f_t | $P_{(x)}$ | $f - f_t$ | $(f - f_t)^2$ | $(f - f_t)^2$ 2 |
|---------------------|-----|-------|--------|-----------|-----------|---------------|--------------------|
| 0 | 683 | 0 | 681,35 | 0,9679 | 1,650 | 2,72 | 0,004 |
| 1 | 19 | 19 | 22,21 | 0,0316 | -3,210 | 10,30 | 0,464 |
| 2 | 2 | 2 | 0,36 | 0,0005 | 1,560 | 2,43 | 6,75 |
| å | 704 | 23 | 704 | 1,0 | 0 | | 7,22 |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

$$C^2 = 7,22$$

ss = 3 – 2 = 1 → iz tablice: za 1 % rizika 6,64

za 5 % rizika 3,84

Prema dostupnim podacima iz relevantne literature (Šrekl, 1997) očitane su granične C^2 vrijednosti. Za 1 % rizika pogreške u zaključivanju, iznosi 6,64, a za 5 % rizika je vrijednost 3,84. Izračunata vrijednost iznosi 7,22, dakle veća je od tabličnih vrijednosti, pa se može tvrditi da postoji statistički značajnija razlika između empirijskih i teoretski očekivanih frekvencija.

ANALIZA PODATAKA ZA RAZDOBLJE OD 2011. DO 2013. GODINE

Tablica 6.. Prikaz razdiobe broja radnika (f) po broju ozljeda (x) u Luka Rijeka d. d. (teorijske frekvencije f_t , χ^2 vrijedost, pripadne vjerojatnosti $P_{(x)}$) za razdoblje od 2011. do 2013. godine

| broj ozljeda (x) | f | $f \cdot x$ | f_t | $P_{(x)}$ | $f - f_t$ | $(f - f_t)^2$ | $(f - f_t)^2$ 2 |
|-------------------------|-------|-------------|--------|-----------|-----------|---------------|--------------------|
| 0 | 707 | 0 | 706,15 | 0,9646 | 0,85 | 0,72 | 0,001 |
| 1 | 23,33 | 23,33 | 25,42 | 0,0347 | -2,09 | 4,37 | 0,17 |
| 2 | 1,67 | 3,40 | 0,457 | 0,0006 | 1,24 | 1,54 | 3,42 |
| Σ | 732 | 26,6 | 732 | 0,9999 | 0 | | 3,59 |

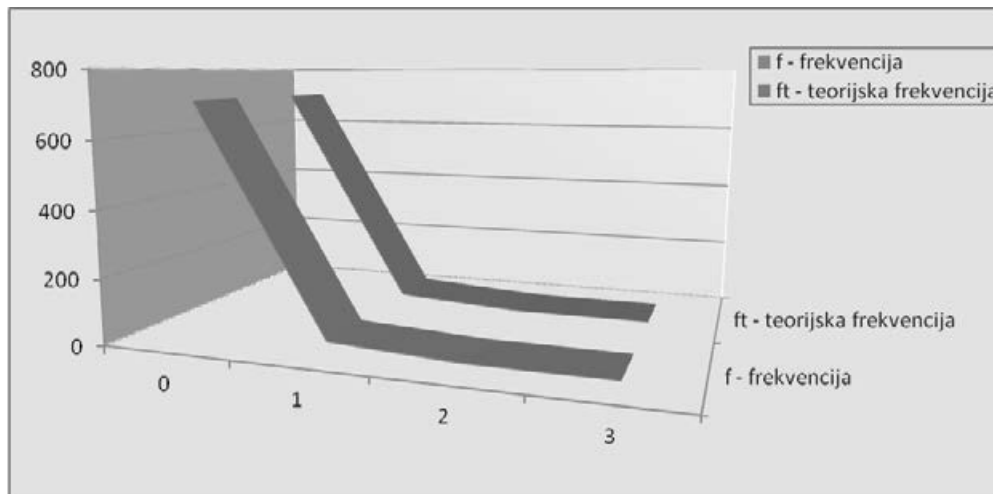
Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

$$\chi^2 = 3,59$$

$ss = 3 - 2 = 1 \rightarrow$ iz tablice: za 1 % rizika 6,64

za 5 % rizika 3,84

Grafikon 3. Teorijske frekvencije (f_t) Poissonove razdiobe za $m = 0,036$ i dobivenih frekvencija (f) ozljeda na radu za razdoblje od 2011. do 2013. godine



Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Zbroj relativnih kvadratičnih odstupanja frekvencija u posljednjem stupcu tablice 6 daje vrijednost $\chi^2 = 3,59$, dok granična vrijednost varijable χ^2 distribuirane po Poissonovoj razdiobi na razini značajnosti 0,05 za 1 stupanj slobode iznosi 3,84, a na razini značajnosti 0,01 je 6,64. Budući da je $\chi^2 < \chi^2_{g}$ zaključuje se da nema značajnijih razlika između empirijskih i teorijskih frekvencija, te se razdioba broja ozljeda pokorava zakonu Poissonove razdiobe.

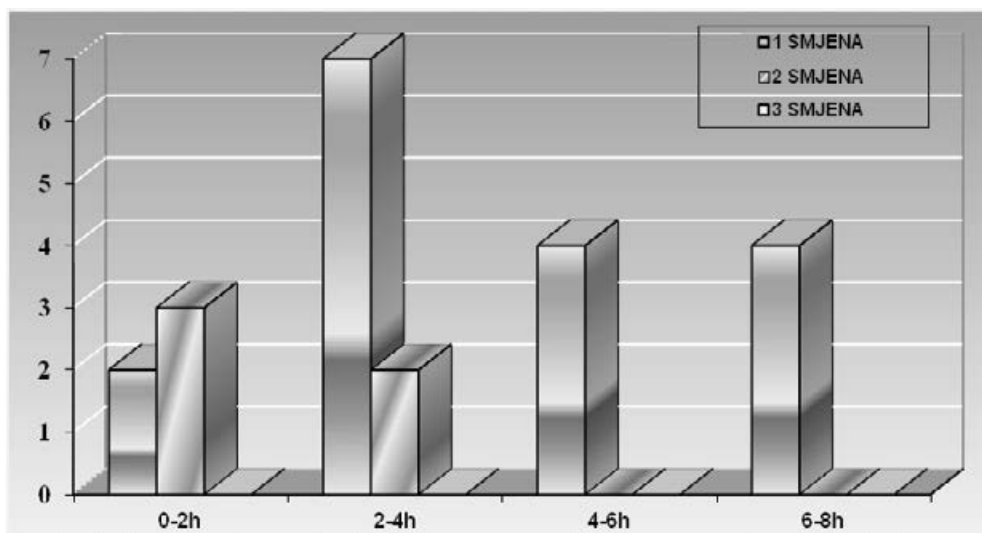
5. RASPODJELA OZLJEDA NA RADU

Tablica 7. Ozljede na radu po satima rada unutar jedne smjene u 2013. god. u poduzeću „Luka Rijeka“ d. d.

| smjena | sati rada | | | | dolazak /odlazak/ |
|--------|-----------|-------|-------|-------|----------------------|
| | 0 - 2 | 2 - 4 | 4 - 6 | 6 - 8 | |
| I. | 2 | 7 | 4 | 4 | 1/0/ |
| II. | 3 | 2 | 0 | 0 | |
| III. | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| ∑ | 5 | 9 | 4 | 4 | 1 |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Grafikon 4. Učestalost ozljeda po satima rada za 2013. godinu



Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Iz tablice 7 vidljivo je da se, sveukupno gledajući, u 2013. godini ozljede nisu ravnomjerno događale od 0 do 8 sati rada.

Iz grafikona 4 vidi se da se najveći broj ozljeda na radu dogodio u prvoj smjeni između 2 i 4 sata rada, a u drugoj smjeni između 0 i 2 sata rada.

U trećoj radnoj smjeni nije bilo ozljeda na radu.

Opažene frekvencije učestalosti ozljeda (navedene u tablici 7) uspoređene su s teorijskim frekvencijama koje su određene u skladu sa statističkom hipotezom, da su ozljede na radu podjednako raspoređene po satima rada. Za utvrđivanje razlika i značajnosti razlika primijenjen je χ^2 test.

Tablica 8. Učestalost ozljeda na radu po satima rada u I. smjeni za 2013. godinu

| frekvencija učestalosti ozljeda (f) | f_t | $f-f_t$ | $(f-f_t)^2$ | $(f-f_t)^2/f_t$ |
|-------------------------------------|-------|---------|-------------|-----------------|
| 2 | 4,25 | -2,25 | 5,06 | 1,19 |
| 7 | 4,25 | 2,75 | 7,56 | 1,78 |
| 4 | 4,25 | -0,25 | 0,06 | 0,01 |
| 4 | 4,25 | -0,25 | 0,06 | 0,01 |
| 17 | 17 | 0 | | $\chi^2=2,99$ |

Izvor: obrada autora

Uz broj stupnjeva slobode $SS = k - 1 = 3$ prema dostupnim podacima iz relevantne literature (Šrekl, 1997) očitane su granične vrijednosti χ^2 . Nalazimo vrijednost 7,82 za 5 % rizika i vrijednost 11,34, za 1 % rizika pogreške u zaključivanju. Izračunata vrijednost iznosi 2,99, dakle manja je od tabličnih vrijednosti, pa se može utvrditi da ne postoji statistički značajna razlika između distribucije broja ozljeda na radu u I. smjeni rada i teorijskih očekivanih frekvencija.

Tablica 9. Učestalost ozljeda na radu po satima rada u II. smjeni za 2013. godinu

| frekvencija učestalosti ozljeda (f) | f_t | $f-f_t$ | $(f-f_t)^2$ | $(f-f_t)^2/f_t$ |
|-------------------------------------|-------|---------|-------------|-----------------|
| 3 | 1,25 | 1,75 | 3,06 | 2,45 |
| 2 | 1,25 | 0,75 | 0,56 | 0,45 |
| 0 | 1,25 | -1,25 | 1,56 | 1,25 |
| 0 | 1,25 | -1,25 | 1,56 | 1,25 |
| 5 | 5 | 0 | | $\chi^2 = 5,40$ |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća
Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Prema dostupnim podacima iz relevantne literature (Šrekl, 1997) broj stupnjeva slobode je $k = 3$, a granična vrijednost c^2 na razini značajnosti od 0,05 iznosi 7,82 i vrijednost 11,34 za 0,01. Izračunata vrijednost iznosi 5,40, dakle manja je od tabličnih vrijednosti, pa se može tvrditi da ne postoji statistički značajna razlika između distribucije broja ozljeda na radu koje su se dogodile u II. smjeni rada i teorijskih frekvencija.

Tablica 10. Učestalost ozljeda na radu po satima rada ukupno
 za I. i II. smjenu u 2013. godini.

| frekvencija učestalosti ozljeda (f) | f_t | $f - f_t$ | $(f - f_t)^2$ | $(f - f_t)^2 / f_t$ |
|---|-------|-----------|---------------|---------------------|
| 5 | 5,50 | -0,50 | 0,25 | 0,05 |
| 9 | 5,50 | 3,50 | 12,25 | 2,23 |
| 4 | 5,50 | -1,50 | 2,25 | 0,41 |
| 4 | 5,50 | -1,50 | 2,25 | 0,41 |
| 22 | 22 | 0 | | $c^2 = 3,10$ |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Postavlja se H_0 (nul - hipoteza) i tvrdi da je učestalost ozljeda na radu po satima rada u ove dvije smjene podjednako raspoređena.

Izračunata c^2 vrijednost je 3,10, broj stupnjeva slobode $k = 3$, kod očitavanja iz tablice prema dostupnim podacima iz relevantne literature (Šrekl, 1997) dobiju se vrijednosti za 0,01 (11,34), a za 0,05 (7,82). Prema ovome može se zadržati postavljena H_0 –hipoteza i tvrditi da opažana razlika učestalosti ozljeda na radu po satima rada, promatrajući dvije smjene, statistički nije značajna.

6. UČESTALOST OZLJEDA NA RADU PO DANIMA U TJEDNU

Prilikom prikaza učestalosti ozljeda na radu po danima u tjednu broj prisutnih radnika izveden je tako da se uzelo u obzir otprilike 10 % odsutnih radnika zbog slobodnih dana, godišnjih odmora te bolovanja u radnim danima.

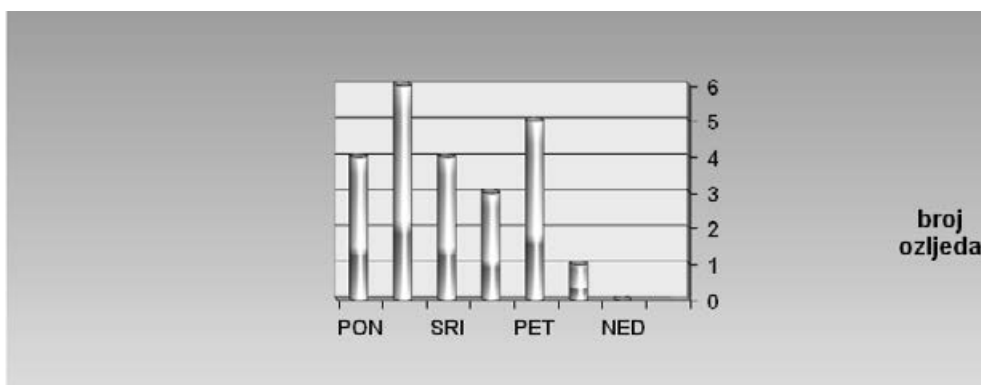
Isto tako, zbog djelatnosti koju Luka Rijeka obavlja, uzelo se u obzir otprilike 20 % prisutnih radnika tijekom vikenda.

Tablica 11. Ozljeđe na radu po danima u tjednu za razdoblje od 2004. do 2013. godine u poduzeću „Luka Rijeka“ d. d.

| GODINA | PON | UTO | SRI | ČET | PET | SUB | NED |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2004. | 24 | 16 | 13 | 13 | 14 | 5 | 6 |
| 2005. | 18 | 9 | 14 | 11 | 12 | 4 | 1 |
| 2006. | 17 | 8 | 11 | 13 | 10 | 3 | 1 |
| 2007. | 16 | 10 | 10 | 7 | 9 | 4 | 7 |
| 2008. | 18 | 9 | 13 | 7 | 8 | 1 | 2 |
| 2009. | 9 | 11 | 11 | 9 | 6 | 2 | 2 |
| 2010. | 5 | 11 | 8 | 4 | 8 | 0 | 2 |
| 2011. | 8 | 9 | 6 | 4 | 5 | 0 | 0 |
| 2012. | 5 | 6 | 2 | 5 | 5 | 1 | 1 |
| 2013. | 4 | 6 | 4 | 3 | 5 | 1 | 0 |
| UKUPNO | 124 | 95 | 92 | 76 | 82 | 21 | 22 |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Grafikon 5. Učestalost ozljeda po danima u tjednu za 2013. god. u Luka Rijeka d. d.



Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Iz tablice 11 vidljivo je da se najveći ukupni broj ozljeda u promatranom razdoblju dogodio ponedjeljkom. Posljednjih 5 godina promatranog razdoblja najveći broj ozljeda događa se utorkom.

Iz grafikona 5 vidi se da se najveći broj ozljeda u 2013. godini, odnosno 48 % od ukupnog broja ozljeda, dogodio utorkom i petkom.

Tablica 12. Učestalost ozljeda po danima u tjednu za 2013. godinu

| frekvencija učestalosti ozljeda (f) | f_t | $f - f_t$ | $(f - f_t)^2$ | $(f - f_t)^2 / f_t$ |
|---|-------|-----------|---------------|---------------------|
| 4 | 3,286 | 0,71 | 0,50 | 0,15 |
| 6 | 3,286 | 2,71 | 7,34 | 2,23 |
| 4 | 3,286 | 0,71 | 0,50 | 0,15 |
| 3 | 3,286 | -0,286 | 0,08 | 0,02 |
| 5 | 3,286 | 1,71 | 2,92 | 0,89 |
| 1 | 3,286 | -2,29 | 5,24 | 1,59 |
| 0 | 3,286 | -3,286 | 10,79 | 3,29 |
| 23 | 23 | 0 | | $c^2 = 8,23$ |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Uz broj stupnjeva slobode $k = 6$, granična vrijednost c^2 na razini značajnosti od 0,05 iznosi 12,59 i vrijednost 16,81, za 0,01. Izračunata vrijednost iznosi 8,23, dakle manja je od tabličnih vrijednosti, pa se može tvrditi da ne postoji statistički značajna razlika između distribucije broja ozljeda na radu, koje su se dogodile po danima u tjednu, i teorijskih frekvencija.

7. PRIKAZ BROJA OZLJEDA PO MJESECIMA

Zbog djelatnosti koju Luka Rijeka obavlja, a to je prekrcaj brodova koji uplovljavaju u luku, prisutan je stalni kontinuitet obavljanja poslova, a to znači da je prisutan podjednak broj radnika po mjesecima, s obzirom na to da su isključeni kolektivni godišnji odmori.

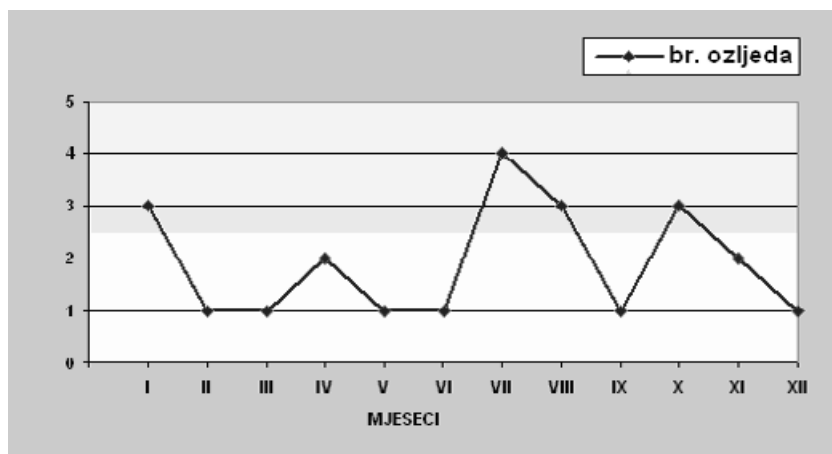
Granična vrijednost c^2 na razini značajnosti od 0,05, kao i ona na razini od 0,01 veća je od izračunate vrijednosti koja je 5,84. Budući da $c^2 < c_g^2$ zaključuje se da nema statističkih značajnijih razlika između broja ozljeda na radu koje su se dogodile po mjesecima i teorijskih frekvencija, te se razdioba broja ozljeda pokorava zakonu Poissonove razdiobe. Prema tome, odbacuje se nul-hipoteza i tvrdi da opažena razlika učestalosti ozljeda po mjesecima u ovom slučaju nije statistički značajna.

Tablica 13. Prikaz ozljeda na radu po mjesecima za razdoblje od 2004. do 2013. god. u poduzeću Luka Rijeka d. d.

| Godina | Mjesec | | | | | | | | | | | | prosjeak |
|--------|--------|-----|------|-----|----|-----|------|-------|-----|----|-----|------|----------|
| | I. | II. | III. | IV. | V. | VI. | VII. | VIII. | IX. | X. | XI. | XII. | |
| 2004. | 10 | 8 | 9 | 10 | 9 | 4 | 6 | 9 | 5 | 11 | 7 | 3 | 7,7 |
| 2005. | 4 | 6 | 3 | 5 | 7 | 10 | 5 | 7 | 5 | 5 | 8 | 4 | 5,7 |
| 2006. | 8 | 4 | 8 | 7 | 3 | 2 | 7 | 2 | 6 | 7 | 5 | 4 | 5,3 |
| 2007. | 6 | 5 | 9 | 7 | 2 | 5 | 12 | 6 | 4 | 4 | 1 | 2 | 5,3 |
| 2008. | 9 | 2 | 3 | 2 | 3 | 9 | 4 | 6 | 7 | 5 | 4 | 4 | 4,8 |
| 2009. | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 4 | 3 | 5 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4,1 |
| 2010. | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 7 | 4 | 3,2 |
| 2011. | 2 | 6 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0 | 0 | 2,7 |
| 2012. | 0 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 5 | 2 | 2,1 |
| 2013. | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1,9 |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Grafikon 6. Prikaz ozljeda na radu po mjesecima za 2013. god. u poduzeću Luka Rijeka d. d.



Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

Tablica 14. Učestalost ozljeda po mjesecima za 2013. godinu

| frekvencija učestalosti ozljeda (f) | f_t | $f - f_t$ | $(f - f_t)^2$ | $(f - f_t)^2 / f_t$ |
|---|-------|-----------|---------------|---------------------|
| 3 | 1,92 | 1,08 | 1,17 | 0,61 |
| 1 | 1,92 | -0,92 | 0,85 | 0,44 |
| 1 | 1,92 | -0,92 | 0,85 | 0,44 |
| 2 | 1,92 | 0,08 | 0,006 | 0,003 |
| 1 | 1,92 | -0,92 | 0,85 | 0,44 |
| 1 | 1,92 | -0,92 | 0,85 | 0,44 |
| 4 | 1,92 | 2,08 | 4,33 | 2,25 |
| 3 | 1,92 | 1,08 | 1,17 | 0,61 |
| 1 | 1,92 | -0,92 | 0,85 | 0,44 |
| 3 | 1,92 | 1,08 | 1,17 | 0,61 |
| 2 | 1,92 | 0,08 | 0,006 | 0,003 |
| 1 | 1,92 | -0,92 | 0,85 | 0,44 |
| 23 | 23 | 0 | | $\chi^2=5,84$ |

Izvor: obrada autora prema podacima dobivenim iz Izvješća Službe zaštite na radu Luke Rijeka za 2013. godinu

8. ZAKLJUČAK

Istraživanje primjenjivosti Poissonove razdiobe na empirijsku razdiobu broja ozljeda izvedeno je za sve radnike Luke Rijeka u razdoblju od 2011. do 2013. godine. Za svaku godinu provjereno je razlikuje li se statistički značajnije broj stvarnih frekvencija (ozljeda) od teorijski očekivanih ozljeda. Provjeravalo se pomoću χ^2 (hi-kvadrat) testa. Ozljede na radu pripadaju rijetkim događajima i za njih se može reći da se raspodjeljuju u obliku tzv. Poissonove distribucije. Poissonova distribucija, slično kao i normalna distribucija, teorijski je model raspodjele nekih obilježja ili događaja. Normalna distribucija je, međutim, simetrična i odnosi se na obilježja koja su isto tako raspodijeljena u populaciji. Poissonova razdioba je uglavnom asimetrična, što je uzrokovano nejednakom vjerojatnošću ostvarivanja nekog događaja, kao što su ozljede na radu. Naime, najvećem broju radnika dogodit će se, u određenom periodu na radu, samo jedna ozljeda, puno manjem broju radnika u istom će se razdoblju rada dogoditi dvije, tri ili više ozljeda. Ozljede u Luci Rijeka mogle bi se distribuirati po Poissonovoj krivulji kada na njih ne bi djelovali nikakvi vanjski ili unutarnji čimbenici, a njih je teško izbjeći. Pod ovim čimbenicima podrazumijeva se organizacija rada pri izvođenju radnog procesa, uređenje mjesta rada, tj. uvjeti rada koji su za luku karakteristični, s obzirom na to da se radi o aktivnostima rada na otvorenom prostoru, zatim osposobljenost radnika za rad na siguran način, ispunjavanje zahtjeva za rad na poslovima s posebnim uvjetima rada u pogledu općih zdravstvenih, psihičkih i psihofizioloških sposobnosti i sl. Radi toga se Poissonova

distribucija može primijeniti pri analizi rijetkih događaja kao što su ozljede na radu. Ovi čimbenici su ujedno i ograničenja, odnosno problemi na koje smo naišli prilikom istraživanja. Oni se ne mogu u potpunosti otkloniti, ali se može posvetiti posebna pozornost na njih kako bi se smanjio njihov negativan učinak. Primjenom statističke metode, prilikom analize ozljeda na radu dobili smo smjernice za sustavno istraživanje ozljeda kako bi se „rijedak događaj“ (kako se u praksi definira ozljeda na radu) u potpunosti pokušao eliminirati. Koristeći Poissonovu distribuciju najbolje smo se približili analizi ozljeda s obzirom na to da je ozljeda na radu događaj koji se u praksi rijetko događa, a upravo Poissonova distribucija služi za raspodjelu vrlo rijetkih događaja, kod kojih je vjerojatnost pojavljivanja vrlo mala. S obzirom na sve navedeno smatramo kako analiza ozljeda na radu primjenom Poissonove distribucije može biti temelj, odnosno smjernica za buduća sustavna istraživanja ozljeda na radu po kojoj bi se trebali voditi stručnjaci zaštite na radu kako bi postigli svoj glavni cilj - sigurnost je na prvom mjestu.

LITERATURA

- Milojica, M. (2013) *Izvešće o zaštiti na radu, zaštiti od požara i zaštiti okoliša za 2013. godinu*, Rijeka: Služba zaštite na radu Luka Rijeka d. d.
- Šošić, I., Serdar, V. (1997) *Uvod u statistiku*, Zagreb: Školska knjiga
- Šrekl, J. (1997) *Izbrana poglavlja iz matematike*, Ljubljana: FKKT, Odd za tehniško varnost
- Pravilnik o evidenciji, ispravama, izvještajima i knjizi nadzora s područja zaštite na radu* (N.N. br. 52/84).

Milorad Milojica¹
Kristina Dundović²

Professional paper
UDC UDK 331.462:627.09(497.5 Rijeka)

APPLICATION OF THE POISSON DISTRIBUTION IN THE STATISTICAL ANALYSIS OF OCCUPATIONAL INJURIES IN THE COMPANY "LUKA RIJEKA" ("THE PORT OF RIJEKA")³

ABSTRACT

Improving safety at work can be considered as the general objective of statistical analysis of accidents at work. Within this general objective, specific goals can be singled out such as obtaining valid and reliable information on the basis of which company's management can put in place an efficient policy of improving the safety management system. The likelihood that an injury will occur in a given time interval is equal to the number of injured workers and the total number of workers in the observed group. Experience generally shows that the probability of injury in the period of one year is much less than one, therefore work related injuries can be considered as "a rare event". As work related injuries can occur again considering the fact that one worker can suffer one, two, three or more identical or different injuries, the distribution of the number of injuries (frequency) can be observed per workers. It is usually assumed that the distribution of the number of injuries is well described by the Poisson distribution. Studies carried out in the preparation of this work, were based on the annual Report on Safety at Work of the Safety at Work Department in Luka Rijeka ("The Port of Rijeka") where the Poisson distribution was used as a statistical method in analyzing occupational injuries. The objective of this work is to highlight the need for systematic research with the aim of further reducing work related injuries in the port processes. By applying the statistical method in the analysis of work related injuries we received guidelines for the systematic study of injuries so that the "rare event" (definition of injury in practice) could be completely eliminated.

Key words: safety at work, statistical analysis, occupational injury, incidence of injuries, the Poisson distribution

¹ Graduate Engineer in Occupational Safety, Head of Safety at Work Department in "Luka Rijeka" ("The Port of Rijeka"), Riva 1, Rijeka, Croatia. E-mail: znr@lukarijeka.hr

² Graduate Engineer in Occupational Safety, Assistant, Polytechnic of Rijeka, Vukovarska 58, Rijeka, Croatia. E-mail: kristina.dundovic@veleri.hr

³ Received: 13. 2. 2014.; accepted: 5. 5. 2014.